

скорости резания. Экспериментальная кривая получена аппроксимацией опытных значения методом минимизации среднеквадратичных отклонений. Теоретическая кривая является сечением поверхности  $p = p(v, f_z)$  плоскостью  $f_z = 0,08 \text{ мм / зуб}$ .

Анализ приведенных данных свидетельствует, что представленная аналитическая модель процесса фрезерования вязкопластического материала является верхнеграницной оценкой силового режима фрезерования. Точность аналитической модели большей степенью определяется точностью определяющих соотношений,  $\sigma_s(\dot{\varepsilon}_{2\max_j}(v_i), \theta_j)$  устанавливающих связь между инвариантами напряженного и

деформированного состояния для конкретного обрабатываемого материала в определенных условиях резания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. Силин, С. С. Метод подобия при резании материалов [Текст]: / С. С. Силин. М.: Машиностроение, 1979. - 152 с.
- Johnson, G.R. Cook, W.H. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures. [Электронный ресурс]: /Johnson G.R., Cook W.H. // *Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics*. - 1983. - p 541-547 / - <http://www.lajss.org/HistoricalArticles/A%20constitutive%20model%20and%20data%20for%20metals.pdf>

## ШЕСТИЛУЧЕВЫЕ СКЛАДЧАТЫЕ СТРУКТУРЫ, КАК ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОСНОВА ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ МНОГОСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ

© 2012 Халиулин В.И., Шабалов А.В.

Казанский национальный исследовательский технический университет -КАИ  
им. А.Н.Туполева, Казань

## SIX-RAYED FOLD STRUCTURES AS GEOMETRIC BASE FOLDED CORE

© 2012 Khaliulin V.I., Shabalov A.V.

This work presents an overview of six-rayed nodes of folded structures, the mathematical model of six-rayed nodes and mathematical model of the filler, made the possibility of modifying the six-rayed folded aggregate

В настоящее время в конструкции фюзеляжей ЛА все больше используются композиционные материалы, в частности 3-х слойные панели. Заполнителем в большинстве случаев служат соты. Альтернативой сотовому заполнителю является заполнитель типа z-гофр. Благодаря своей геометрической структуре такой заполнитель позволяет избавляться от влаги в панели и изготавливается из единого листа без применения клеевых соединений.

На данный момент наиболее изученными являются 4-х лучевые структуры типа z-гофр. Для них разработаны различные технологии

изготовления, разнообразные варианты конструкций с их использованием, проведена классификация этих структур. Однако 4-х лучевые структуры не лишены недостатков, усложняющих их применение. В частности, сложно изготавливать панели одинарной и двойной кривизны с использованием 4-х лучевых структур. Деформация заполнителя в состояние двойной кривизны сопровождается еще и деформацией граней.

Этих недостатков лишены 6-ти лучевые структуры. Благодаря своей геометрии эти структуры могут принимать форму, как одинарной кривизны, так и

двойной. В отличие от 4-х лучевых структур, грани 6-ти лучевых структур имеют треугольную форму. Благодаря этому они не претерпевают деформацию при складывании заполнителя с целью придать ему требуемую форму.

Для выявления всего многообразия складчатых 6-ти лучевых структур была проведена их классификация. В результате были выявлены базовые варианты 6-ти лучевых узлов, различная комбинация которых позволяет получить все многообразие структур. Так же получены, в ходе выполнения классификации, сочетания шестилучевых базовых узлов образующих элементарные модули структур.

С целью определения свойств шестилучевых структур были разработаны математические модели базовых вариантов узлов (рис.1). Математическая модель выполнена в векторном виде. Она показывает изменение деформации шестилучевого узла, а именно положение его ребер относительно заданной системы координат, в зависимости от входных иницирующих параметров. Изменяя значения одних иницирующих параметров при постоянном значении других, можно получить все многообразие форм заполнителя.

Чтобы рассмотреть деформацию не только отдельного узла, но и структуры состоящей из заданного количества узлов была выполнена математическая модель структуры. Она имеет форму матрицы с векторными моделями узлов в каждой ячейке. Между ячейками матрицы введены связи, благодаря которым производится передача параметров от одной векторной модели узла к другой. Таким образом, получается сквозная параметризация структуры. Размер матрицы определяется размером рассматриваемой структуры. В ячейках матрицы можно располагать различные типы векторных моделей базовых шестилучевых узлов. Расположение узлов в ячейках матрицы подчиняется определенным правилам. Задавая иницирующие параметры с одной стороны заполнителя состоящего из  $n$  х  $m$  узлов, можно определить деформацию любого узла в структуре и

соответственно общую деформацию заполнителя.

Сами 6-ти лучевые структуры в базовом варианте (рис.2) практического интереса не представляют. Для использования в конструкции летательных аппаратов исходные шестилучевые структуры необходимо модифицировать. Модификация выполняется путем введения дополнительных ребер к исходному узлу с целью улучшения конструктивных свойств заполнителя. Например, с помощью модификации могут быть введены площадки в огибающих поверхностях заполнителя (рис.3). В дальнейшем, при включении этого заполнителя в конструкцию панели, к полученным площадкам можно приклеивать обшивку. В результате получается более прочное соединение по сравнению с приклейкой обшивки к ребрам заполнителя.

За счет модификации заполнителя путем введения дополнительных ребер можно повысить жесткость заполнителя, так как при полном сжатии ребра располагаются по нормали к огибающей поверхности.

Представляет конструктивный интерес сочетание шести- и четырехлучевых узлов в структуре. Благодаря введению четырехлучевых узлов возможно более гибкое управление формой заполнителя

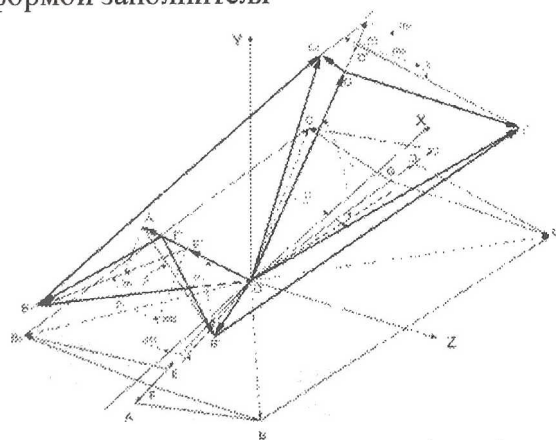


Рисунок 1 - Векторная модель базовой шестилучевой структуры



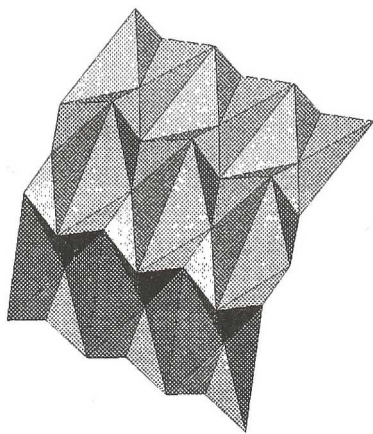


Рисунок 2 - Заполнитель шестилучевой структуры с базовой архитектурой

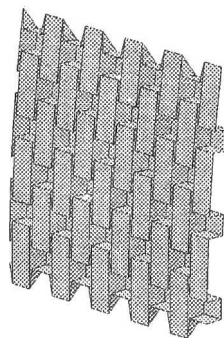


Рисунок 3 - Модифицированный вариант заполнителя модифицированной шестилучевой структуры

## К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОБЪЕМНОГО НАПОЛНЕНИЯ АРМИРУЮЩИМ ВОЛОКНОМ КОМПОЗИТНОЙ ДЕТАЛИ ПРИ ТРАНСФЕРНОМ ФОРМОВАНИИ

© 2012 Хилов П.А., Батраков В.В., Двоеглазов И.В.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева (КНИТУ-КАИ), Казань

## PROVIDING FIBER VOLUME CONTENT IN THE REINFORCEMENT FIBER PARTS FOR RESIN TRANSFER MOULDING

© 2012 Khilov P.A., Batrakov V.V., Dvoeglazov I.V.

In this work is the study of changes in the permeability of the fiber volume content preform and the effort required to achieve these values.

При изготовлении композитных деталей с текстильным наполнителем методом RTM, на стадии инъекции, жидкое связующее под давлением пропитывает сухое армирующее волокно помещенное в жесткую герметичную форму. Основным требованием к процессу является обеспечение заданного коэффициента объемного наполнения армирующим материалом. В авиационных конструкциях он составляет 55-65%. Такие пропорции между наполнителем и связующим обеспечивают высокий уровень физико-механических характеристик слоистого пластика. Требование высокого коэффициента объемного наполнения вступает в противоречие с гидродинамическими законами течения связующего в зазорах

оснастки, заполненных армирующим волокном.

При изготовлении конструкции интегрального типа, которые содержат структурные пластинчатые элементы расположенные под разными углами, задача проницаемости связующего усложняется. Неправильное прогнозирование потоков связующего и проницаемости преформы приводит к образованию непропитанных участков изделия, а так же образованию пор. Поры в свою очередь, служат концентратором напряжений и снижают прочность конструкции.

Современный уровень технологий позволяет моделировать течение связующего в полости оснастки через армирующую преформу. Перебором многих вариантов течения можно выбрать